PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 11. 15. Dezember 1900. **2. Jahrgang.**

INHALT.

Originalmitteilungen:
E. Müller, Die Abhängigkeit des Wärmeleitungskoeffizienten der Luft von der Temperatur. S. 161.
E. Knoblauch, Beitrag zur Kenntnis der Spitzenstrahlung aus einem Teslapole. S. 165.

Vorträge und Reden:
H. Poincaré, Über die Beziehungen zwischen der experimentellen und mathematischen Physik. S. 166.

Referate über die Berichte des Internationalen Physikerkongresses zu Paris:
M. R. Bourgeois, Verteilung der Schwereintensität auf der Erdoberfläche. S. 171.

Eingegangene Schriften. S. 172.
Personalien. S. 172.
Anzeige. S. 172.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Die Abhängigkeit des Wärmeleitungskoeffizienten der Luft von der Temperatur.

Von Egon Müller.

(Vorläufige Mitteilung.)

§ 1.

Die Frage, ob die Wärmeleitungs-Konstante (W. K.) und der Koeffizient der inneren Reibung der Gase in gleicher Weise von der Temperatur abhängen, wie es gewöhnlich in der kinetischen Gastheorie verlangt wird, oder nicht, ist experimentell noch nicht zum Abschluss gelangt. Während Versuche über die Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Temperatur schon vielfach durch einwandfreie Methoden zu nahe übereinstimmenden Ergebnissen geführt haben, kann das Gleiche von den Versuchen über die Änderung der W. K. mit der Temperatur nicht behauptet werden.

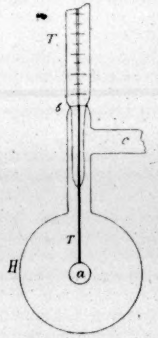


Fig. 1.

In der vorliegenden Arbeit wird die zuerst von Kundt und Warburg[1]) benützte Methode zur Bestimmung der W. K. der Luft auf die Grenzen ihrer Verwendbarkeit zu absoluten und relativen Bestimmungen geprüft und die Abhängigkeit der W. K. der Luft von der Temperatur nach dieser Methode mit möglichst grosser Sorgfalt bestimmt.

In vorstehender Fig. 1 ist T ein Thermometer, dessen Gefäss a von einer kugelförmigen Hülle H konzentrisch umgeben ist. Dieselbe ist in b mit dem Thermometer zusammengeschmolzen und dnrch das Rohr c mit einer Luftpumpe verbunden. Wird ein solcher Apparat etwa auf 100° erwärmt und sodann durch schmelzendes Eis die Hülle H auf konstante Temperatur gebracht, so kühlt sich das Thermometer ab und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche abhängig ist einerseits von der Wärmeleitfähigkeit des Thermometerstieles und dem Strahlungsvermögen des Glases, andererseits von dem Wärmeleitungsvermögen des die Hülle erfüllenden Gases. Wärmeverluste durch Konvektionsströme werden durch passende Wahl des Druckes vermieden. Wird durch Evakuieren das Gas möglichst entfernt, und der Versuch wiederholt, so kühlt sich das Thermometer nur noch infolge der beiden zuerst angeführten Ursachen, und zwar bedeutend langsamer ab. Aus zwei zusammengehörenden Versuchen lässt sich die Wärmeleitfähigkeit des Gases berechnen; die Abhängigkeit derselben von der Temperatur wird aus der Vergleichung zweier Versuche, welche in Bädern von verschiedener Temperatur angestellt werden, ermittelt.

Zu irgend einer Zeit t möge die Thermometerkugel a vom Radius r die Temperatur ϑ besitzen, während die Temperatur der Hülle H vom Radius R konstant 0^0 sein soll. In der sehr kleinen Zeit dt kann der Wärmestrom von a nach H als stationär betrachtet werden. Die isothermen Flächen, welche zwischen a und H liegen, sind konzentrische Kugelflächen, deren Radien ϱ alle Werte zwischen $\varrho = r$ und $\varrho = R$ besitzen.

Die Wärmemenge dQ, welche in der Zeit dt die Kugel a unter diesen Voraussetzungen verliert, setzt sich zusammen aus folgenden Teilen: $\Lambda\,dt$, welches durch Leitung der Luft, $\Sigma\,dt$, durch Strahlung der Kugeloberfläche und $\Gamma\,dt$ durch den Einfluss des Thermometerstieles hervorgerufen wird. Es ist also:

$$dQ = (\Lambda + \Sigma + \Gamma)\,dt.$$

Wird der Kugel a die Wärmemenge dQ entzogen, so sinkt die Temperatur derselben um $d\vartheta$. Ist w der Wasserwert der Kugel a, so ist:

$$-w \cdot \frac{d\vartheta}{dt} = \Lambda + \Sigma + \Gamma \tag{1}$$

1) Kundt u. Warburg, Pogg. Ann. 156, 177, 1875. — Diese Methode wurde von Winkelmann modifiziert; Winkelmann, Pogg. Ann. 156, 497, 1875. — Die ausführliche Litteraturangabe findet sich in der vollständigen Arbeit.

Wird der Apparat sehr tief evakuiert, so kann die Leitung der Luft vernachlässigt werden, Λ wird gleich o. Σ behält denselben Wert, wie im lufterfüllten Raume, denn eine bei diesen Versuchen bemerkbare Absorption der Wärmestrahlen durch Luft findet nicht statt. Γ ändert im evakuierten Apparate seinen Wert, denn die Wärmemenge, welche die Oberfläche des Thermometerstieles abgiebt, ist jetzt geringer. In diesem Fall ist also:

$$(2 \qquad -w\frac{d\vartheta}{dt} = \Sigma + \Gamma'$$

Aus diesen beiden Gleichungen folgt, wenn die Grösse $-\frac{d\vartheta}{dt}$, welche die Abkühlungsgeschwindigkeit darstellt, in Gl. 1 mit l, in Gl. 2 mit s bezeichnet wird:

$$(3 \qquad w\cdot(l-s) = \Lambda + (\Gamma - \Gamma')$$

Λ ist die Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit wegen der Leitung der Luft durch jede der isothermen Kugelflächen (ϱ) hindurchgeht, und hat den Wert:

$$(4 \qquad \Lambda = -k\,4\pi\vartheta\frac{Rr}{R-r}$$

Die Differenz $(\Gamma - \Gamma')$ ist eine Korrektionsgrösse und kann nicht streng berechnet werden. Γ ist eine Funktion der W. K. und des Strahlungsvermögens des Glases und der W. K. der Luft (k). Γ' ist von k unabhängig. Die Differenz $(\Gamma - \Gamma')$ wird gleich o wenn $k = o$ wird, und wächst, wenn k wächst. Wir wollen deshalb die für dieses Korrektionsglied erlaubte Annahme machen, dass

$$(\Gamma - \Gamma') = k\cdot C$$

sei. Da ferner $(\Gamma - \Gamma')$ dieselbe Dimension besitzen muss wie Λ, so können wir auch schreiben

$$(\Gamma - \Gamma') = k\cdot\vartheta\cdot\lambda$$

wo λ eine unbekannte Länge bedeutet.

Aus Gl. 3 folgt nunmehr:

$$(5 \qquad k = w\frac{l-s}{\vartheta}\,\frac{R-r}{4\pi Rr - \lambda(R-r)}$$

k ist von der Temperatur abhängig und bezieht sich in Gl. 5, wie früher bewiesen wurde[1]), auf die mittlere Temperatur zwischen Thermometer und Hülle, also auf $\frac{\vartheta}{2}$.

Die Gl. 5 gilt auch dann, wenn die Erwärmung des Apparates gemessen wird. In diesem Falle ändert l, s und ϑ das Vorzeichen.

Wenn sich k zwischen den Temperaturen ϑ_0 und ϑ_1 linear ändert, so ergiebt sich der Temperatur-Koeffizient (T.-K.) γ aus der Gl.:

$$k_{\vartheta_1} = k_{\vartheta_0}\cdot[1 + \gamma(\vartheta_1 - \vartheta_0)]$$

$$(6 \qquad \gamma = \frac{\frac{k_{\vartheta_1}}{k_{\vartheta_0}} - 1}{\vartheta_1 - \vartheta_0}$$

1) Winkelmann, Pogg. Ann. **157**, 515, 1876. E. Müller, Wied. Ann. **60**, 85, 1897.

In dieser Gleichung tritt das Verhältnis der W.-K. bei verschiedenen Temperaturen auf. Ist k_{ϑ_1} und k_{ϑ_0} nach Gl. 5 mit demselben Apparate bestimmt, so ist das Verhältnis dieser beiden Grössen unabhängig von den Dimensionen des Apparates, denn durch die Ausdehnung mit der Temperatur ändern sich dieselben so wenig, dass das Resultat dadurch nicht merkbar beeinflusst wird. Folglich ist γ auch unabhängig von der uns unbekannten Grösse γ in Gl. 5. Dagegen ist eine genaue Kenntnis des Wasserwertes w bei verschiedenen Temperaturen zur Bestimmung von γ von sehr grosser Wichtigkeit.

Die Gleichungen 5 und 6 führen uns zu dem Schluss, dass es gestattet ist, die hier beschriebene Methode anzuwenden zur Ermittelung von relativen W.-K. und zur Bestimmung der T.-K., aber nicht ohne Vernachlässigung der Grösse λ, über deren Grösse man gar kein Urteil besitzt, zur Auffindung einer absoluten W.-K.

§ 2.

Zu den Messungen dienten drei Apparate[1]), vollständig aus Jenaer Normalglas 16III hergestellt, deren Form Fig. 1 ungefähr wiedergiebt. Die Dimensionen (cm) derselben sind etwa folgende:

App.	R.	r	Teilung d. Thermom.
I	6,5	0,75	v. 0^0 bis 60^0 u. v. 100^0 bis 160^0
II	2,5	0,6	v. 0^0 bis 60^0 u. v. 100_0 bis 160^0
III	6,5	0,6	v. 0^0 bis 10^0

Bei allen drei Apparaten waren die Thermometer, welche Stickstofffüllung besassen, in die Hüllen eingeschmolzen und in halbe Grade geteilt, nur in der Nähe von 0^0 und 100^0 in $0,1^0$. Sie durften über 300^0 erhitzt werden.

Von der Hülle führten zwei Ansatzröhren, welche durch je einen Glashahn verschliessbar waren, einerseits zu einem offenen *Hg*-Manometer und von da zu einer Trockenvorlage, bestehend aus einem Rohr mit konzentrierter Kalilauge, einem Rohr mit H_2SO_4 und zwei Röhren mit P_2O_5; andererseits zu einer *Hg*-Luftpumpe.

Die Erwärmung geschah in einem Luftbade. Die Abkühlungszeit des Thermometers wurde in Bädern von 0^0 und 100^0 bestimmt, welche Rührvorrichtungen besassen. Die Einrichtung einer solchen habe ich früher beschrieben.[2])

Das Bad von 100^0 enthielt nicht Wasserdampf, sondern Wasser, dessen Temperatur an einem kleinen Thermometer abgelesen wurde. Die Rührvorrichtungen wurden durch einen Heissluftmotor betrieben.

Eine Übersicht über die ganze Versuchsanordnung giebt Fig. 2. A ist das Erwärmungs-

1) Dieselben wurden von der Firma F. O. R. Goetze in Leipzig mit vorzüglicher Sorgfalt ausgeführt.

2) l. c. S. 90.

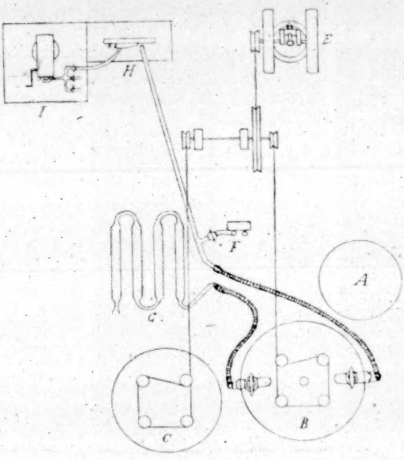


Fig. 2.

gefäss, *B* das Bad von 100°, *C* das Bad von 0°, *E* der Heissluftmotor, *F* das offene *Hg*-Manometer, *G* die Trockenvorlage, *H* eine Sprengelsche und *J* eine Geisslersche Luftpumpe.

Die Sprengelsche Luftpumpe wurde nur zur feineren Regulierung der Drucke und zur Erreichung sehr guter Vakua verwendet.

Zur Messung der Abkühlungszeiten diente ein Taschenchronograph, welcher 0,2 Sek. anzeigte und öfter mit einer Normaluhr verglichen wurde. Anfangs- und Endzeit bestimmte ich selbst, die Zwischenzeiten las ein Gehilfe auf ein von mir gegebenes Zeichen ab.

§ 3.

Der Wasserwert der einzelnen Thermometer wurde vor deren Fertigstellung ermittelt. Für die Konstanten des Normalglases wurden die Angaben aus den Abhandl. d. Phyikal. Techn. Reichsanstalt I, S. 104 und Winkelmann, Wied. Ann. 49, S. 401; für die Konstanten des *Hg* die Tabellen von Landolt und Börnstein, S. 40 und 321 verwendet. Dabei macht sich sehr unangenehm die grosse Unsicherheit in der Bestimmung der spez. Wärme des *Hg* bei hohen Temperaturen bemerkbar.

Die Durchmesser der Hüllen wurden ebenfalls vor Fertigstellung der Apparate durch Wiegen mit Wasser genau bestimmt.

Die Temperatur ϑ bedeutet in Gl. 5 die Temperatur der Thermometeroberfläche. Aus der Abkühlungsgeschwindigkeit, dem Durchmesser der Thermometerkugel und der W. K. des *Hg* wurde angenähert der Unterschied zwischen der abgelesenen und der Oberflächen-Temperatur des Thermometers berechnet.

Weitere Korrektionen ergaben sich: 1. Durch Vergleichung mit einem Normalthermometer; 2. durch das langsame Steigen des Nullpunktes infolge des andauernden Erhitzens; 3. durch die Temperatur des herausragenden Fadens; dieselbe wurde, soweit die Skala sichtbar war, gemessen, im Innern der Hülle geschätzt; die Länge des Hg-Fadens im Innern der Hülle hatte ich mir bei der Herstellung der Apparate für verschiedene Stellen in Centrigraden angeben lassen; 4. dadurch, dass der Stand des Thermometers abhängig ist von dem Drucke, welcher in der Hülle herrscht. Im Vakuum zeigten die Thermometer bis 0,8° zu tief.

Die Abkühlungsgeschwindigkeiten *l* bezw. *s*, sowie die zugehörenden Temperaturen ϑ bestimmte ich nach einer graphischen Methode, welcher kein empirisch gefundenes Gesetz zwischen *l* und ϑ zu Grunde lag.

Genauere Angaben über die Bestimmung der in Gl. 5 vorkommenden Grössen finden sich in der ausführlichen Abhandlung.

§ 4.

Ein Vorversuch mit dem in Fig. 3 abgebildeten Apparat sollte die Frage entscheiden, ob die Abkühlungszeit des Thermometers wesentlich dadurch beeinflusst werden kann, dass die Thermometerkugel nicht genau in der Mitte der Hülle steht. Durch Drehen des Thermometers im Schliffe *S* konnte die Kugel *r* von der Lage a in die Lage b gebracht werden. Der Durchmesser der Hülle war 6 cm, die Entfernung a b ca. 2 cm. Die Abkühlungszeit der Kugel r von 40° bis 10° war in der Lage b um nur 1,7% kleiner als in Lage a. Da bei den in § 3 beschriebenen Apparaten die Thermometergefässe sehr nahe in der Mitte der Hüllen standen, ist in dieser Beziehung kein wesentlicher Fehler zu erwarten.

Mit den Apparaten I und II wurden die Abkühlungszeiten von 160° bis 110° im siedenden Wasser und von 60° bis 10° im Bad von 0° gemessen und zwar von 10° zu 10°. Mit Apparat III wurde in denselben Intervallen die Abkühlung von 60° bis 10° im Eis und die Erwärmung von 40° bis 90° im siedenden Wasser beobachtet.

Die Versuche begannen mit der Bestimmung von *s*. Zu dem Zweck musste die Hülle

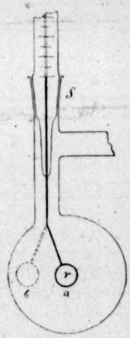


Fig. 3.

möglichst tief evakuiert werden und die am Glase adhärierende Luft und Feuchtigkeit so sorgfältig wie möglich entfernt werden. Nachdem die Hähne des Apparates entfernt waren, wurde derselbe ohne Schliff mit einer Sprengelschen Pumpe[1]) verbunden und mehrmals mit reinem Wasserstoff gefüllt. Während des Evakuierens, welches etwa 14 Tage dauerte, wurde der Apparat lange Zeit auf 250° bis 300° erhitzt und kurz vor dem Abschmelzen desselben von der Pumpe ein eingeschaltetes *U*-Rohr, welches P_2O_5 und Blattgold enthielt, zur Aufnahme von Resten von Wasser und *Hg*-Dampf in eine Kältemischung gebracht. Als Kennzeichen für die Brauchbarkeit des Vakuums wurde die Unveränderlichkeit der Abkühlungszeit während einer längeren Zeit angesehen. Sind nämlich noch Reste von den besonders störenden Dämpfen enthalten, so lösen sich dieselben im Laufe der Zeit los und ändern die Abkühlungszeit[2]). Apparat I änderte z. B. innerhalb 3 Wochen seine Abkühlungszeit um nur 0.6 Prozent, l wurde für sehr verschiedene Drucke zwischen 0 und 450 mm *Hg* bestimmt.

Fig. 4 giebt einen Überblick über alle Versuche. Als Abscissen sind die Drucke p in mm

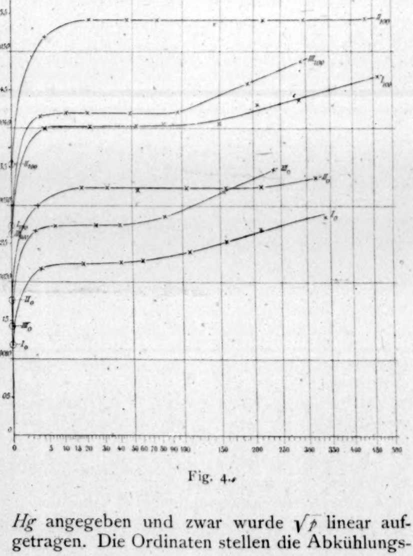


Fig. 4.

Hg angegeben und zwar wurde $\sqrt{p}$ linear aufgetragen. Die Ordinaten stellen die Abkühlungskonstanten $\frac{l}{\vartheta}$ (bezw. $\frac{s}{\vartheta}$ für $p = 0$) dar. Für jede Versuchsreihe ist der Mittelwert eingetragen. Die Kurve I_0 enthält die mit Apparat I im Bade von 0° erhaltenen Werte. Die anderen Kurven sind entsprechend bezeichnet.

Apparat III konnte aus Zeitmangel nicht mit der gleichen Sorgfalt evakuiert werden wie die beiden anderen Apparate. Bei der Berechnung zeigte sich, dass für diesen Apparat s ungenau bestimmt ist. Es wurden deshalb die mit diesem Apparat erhaltenen Zahlen zu weiterer Berechnung nicht verwendet.

§ 5.

Von den in Fig. 4 dargestellten Versuchen dürfen zur Berechnung der W.-K. diejenigen nicht benützt werden, bei denen (bei höheren Drucken) ein Wärmeverlust des Thermometers durch Konvektionsströme nachgewiesen werden kann, und diejenigen (bei niederen Drucken), bei denen der Smoluchowskische Temperatursprung bemerkbar auftritt. Nach Kundt und Warburg[1]) sind in Fig. 3 die zur Berechnung verwendbaren Versuche durch solche Punkte dargestellt, in denen die Kurven parallel der Abscissenachse laufen.

In der folgenden Tabelle bedeutet $f\,(R\,r)$ den Faktor $\frac{R-r}{4\pi\,R\,r}$ in Gleichung 5 (S. 162), wobei $\lambda = 0$ gesetzt ist, ϑ_1 die Temperatur des Thermometers, $\frac{l}{\vartheta}$ und $\frac{s}{\vartheta}$ die Mittelwerte der Abkühlungskonstanten, welche aus allen zur Berechnung verwendbaren Versuchen gewonnen wurden; w_{ϑ_1} sind die Wasserwerte der Thermometer bei der Temperatur ϑ_1, ϑ' ist die Temperatur, auf welche sich die W.-K. k bezieht; γ ist der T.-K.

Apparat	I		II	
$f\,(R,r)$	0,0946		0,0897	
ϑ_1	35	135	35	135
$\frac{l}{\vartheta}\cdot 10^3$	2,24	4,01	3,23	5,40
$\frac{s}{\vartheta}\cdot 10^3$	1,19	2,73	1,70	3,50
$\frac{l-s}{\vartheta}\cdot 10^3$	1,05	1,28	1,53	1,90
w_{ϑ_1}	0.593	0,577	0,367	0.356
$k\cdot 10^5$	5,89	6,99	5,04	6,07
ϑ'	17.5	117,5	17,5	117,5
γ	0,00187		0,00204	

Ein Vergleich der Werte für k, die mit den Apparaten I und II gefunden wurden, lehrt un-

1) E. Müller, Wied. Ann. **65**, 476, 1898.
2) Kundt und Warburg l. c.

1) l. c. S. 117.

zweideutig, dass die Grösse λ in Gleichung 5 nicht vernachlässigt werden darf; denn dass es keine Beobachtungsfehler sind, welche die grosse Abweichung der Werte für k von rund 15 Prozent hervorrufen, zeigt die Übereinstimmung der Werte für γ, die mit denselben Apparaten erhalten sind.

Der Unterschied zwischen den beiden Bestimmungen von γ beträgt zwar 9,2 %, doch wird derselbe vollständig durch unvermeidliche Beobachtungsfehler erklärt. Werden die Thermometer auf 0,1° genau abgelesen, so überträgt sich auf die Bestimmung der Abkühlungsgeschwindigkeit ein Fehler von mindestens 0,2 %. Aus diesem Anlass allein erhält k einen Fehler von 0,4 % und das Verhältnis der W.-K. wie es in Gl. 5 auftritt, wird um 0,8 % ungenau. Da der Fehler der Gl. 5 eine Differenz zweier Grössen enthält, welche beide in ihrer ersten Stelle die Ziffer 1 enthalten, so wird die Ungenauigkeit von γ verzehnfacht, also 8 %. Weitere Fehlerquellen liegen in der Bestimmung der Wasserwerte. Infolge der Unsicherheit in der Kenntnis der spez. Wärme des Hg kann γ um 3 % grösser oder kleiner sein. Schliesslich ist die spez. Wärme des Glases als konstant angenommen, was sicher nicht der Fall ist.

Auf Grund der oben beschriebenen Versuche kann ich für den T.-K. folgenden Wert angeben:

$$\gamma = 0,00196.$$

Derselbe wird grösser, sobald die Zunahme der spez. Wärme des Glases mit der Temperatur berücksichtigt wird.

Winkelmann[1]) bestimmte nach der in der Einleitung zitierten modifizierten Methode die W.-K. der Luft absolut und zwar mit Metallapparaten, für welche, wie aus der Konstruktion derselben leicht zu ersehen ist, λ sehr klein sein muss. Nach dem Resultat, welches ich soeben gewonnen habe, sind die Werte der W.-K., welche Winkelmann mit seinen Metallapparaten erhalten hat, von allen übrigen absoluten Bestimmungen die einzig zuverlässigen. Winkelmann fand im Mittel:

$$k_{6,1} = 5.76 \cdot 10^{-5}.$$

Verbindet man mein Resultat mit dem von Winkelmann gefundenen absoluten Werte der W.-K., so findet man:

$$k = 5,69 \cdot 10^{-5} \cdot (1 + 1,96 \cdot 10^{-3}\, t).$$

Der Koeffizient der Wärmeleitung nimmt für Luft mit steigender Temperatur zu und zwar ist derselbe proportional einer Potenz der absoluten Temperatur, deren Exponent $a = 0,57$ zu setzen ist.

Die vorstehenden Untersuchungen haben zu folgendem Ergebnis geführt:

1. Für Luft wächst der Koeffizient der Wärmeleitung langsamer mit der Temperatur, als der Koeffizient der inneren Reibung.
2. Sowohl theoretisch, wie experimentell wurde gezeigt, dass die benützte Methode nur zu relativen Messungen, aber nicht zu absoluten verwendet werden darf.

Für die mannigfache Unterstützung bei der Ausführung der vorstehenden Arbeit im Physikalischen Institute der Universität Leipzig, fühle ich mich meinem hochverehrten verstorbenen Lehrer, Herrn Geheimrat G. Wiedemann, zu grossem Dank verpflichtet.

Erlangen, November 1900.

(Eingegangen 24. November 1900.)

1) Winkelmann, Wied. Ann. **44**, 429, 1891; **48**, 180, 1893.

Beitrag zur Kenntnis der Spitzenstrahlung aus einem Teslapole.

Von E. Knoblauch.

Versuche mit den nach Tesla benannten Hochfrequenzwechselströmen haben gezeigt[1]), dass derartige Ströme zu einer feinen Metallspitze geführt, eine dieser gegenüberstehende, isoliert aufgestellte Metallplatte in Luft in näherer Entfernung immer positiv laden, während in grösserem Abstande die Platte stets negative Ladung zeigt.

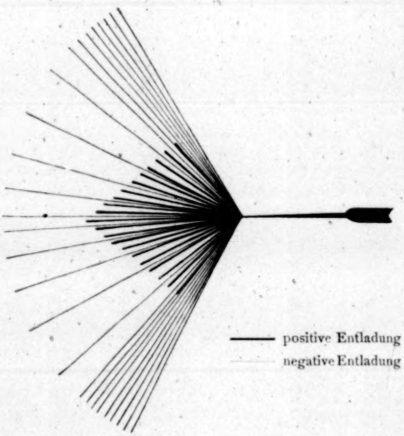
Im Anschluss an diese Beobachtungen habe ich zur Erklärung dieser höchst merkwürdigen Erscheinung auf Veranlassung und unter Leitung von Herrn Professor Dr. Wachsmuth im Physikalischen Institute der Universität Rostock weitere Untersuchungen hierüber angestellt.

Zuerst wurde experimentell festgestellt, in welchem Verhältnis das an einer Teslaspitze gemessene Potential zu dem der in verschiedenen Entfernungen aufgestellten Spitze steht: Es ergab sich, dass die Teslaspitze kein konstantes Potential hat, wenn man ihr in variiertem Abstande eine Metallplatte gegenüberstellt, vielmehr zeigt sie ihre Maximalspannung, wenn das Funkenspiel Spitze-Platte erloschen ist, kurz darauf nimmt erst das Potential einen konstanten Wert an. Das Potential der der Spitze gegenüberstehenden Platte erhält seinen Maximalwert an gleicher Stelle.

Ein jetzt im abgedunkelten Experimentierzimmer angestellter Versuch zeigte, dass aus der Spitze sichtbare Büschelentladungen ausstrahlen; ich kam daher zu der Annahme, dass die positive Ladung der Platte aus diesen Büschelentladungen stammt. In der That: verhindert man das Auftreffen dieser Büschel auf

1) F. Himstedt, Wied. Ann. **68**, 294, 1899.

die Platte, indem man die Platte in geeigneter Weise ausschneidet, so lässt sich letztere selbst in nächstem Abstande nicht mit positiver Ladung versehen. Messungen mit verschiedenen Ausschnittsgrössen zeigten, dass je grösser der Ausschnitt, umsomehr der Umkehrpunkt des Ladungssinnes an die Spitze herangerückt wird.



Analog diesen Resultaten sind die, welche ich mit Lichtenbergschen Staubfiguren erhalten habe: Durch das direkte Funkenspiel wurden zunächst Figuren gebildet, die den Charakter einer oszillierenden Leydener-Flaschen-Entladung haben, die negative Ladung befindet sich hier in der Mitte, die positive Ladung gruppiert sich dagegen sternförmig um diese herum. Dies beweist, dass aus der Spitze thatsächlich positive und negative Elektrizität ausströmt, wie es schon Herr Himstedt auf andere Weise gezeigt hat.

Nach Abklingen des Funkenspiels werden die Figuren rein positiv und bei weiterem Abstande werden die positiven Figuren allmählich kleiner, so dass man zu dem Schlusse berechtigt ist, dass in der Verlängerungslinie der Spitze die positive Ausstrahlung am kräftigsten wirkt, da in dieser Richtung positive Ladungsteilchen noch auf die Platte gelangen, während für die nicht zentralen Teilchen die Kraft zur Erreichung der Platte nicht mehr ausreicht.

Die Umkehr der positiven in die negative Ladung erklärt sich also so, dass die positiven Büschelentladungen die Platte in einem Abstande von ca. 45 mm nicht mehr treffen und nur noch die sich weiter in den Raum fortpflanzenden negativen Ladungsteilchen die Platte erreichen können, diese wirken sogar noch in einem Abstande von 75—100 cm deutlich.

Andererseits haben Versuche mit Lichtenbergschen Figuren nach einer von K. Antolik[1]) angegebenen Methode gezeigt, dass die Ausstrahlung aus der Spitze in Form eines Kegels vor sich geht, dessen äusserer Mantel ausschliesslich negative Elektrizität und dessen Inneres vorwiegend positive Büschelentladungen enthält (s. Figur).

Der Winkel, den die Strahlung bildet, beträgt, wie weitere Versuche zeigen, ca. 120^0; nähert man der Spitze einen Gegenstand, so wird der Winkel allmählich stumpfer.

Ausführlichere Mitteilungen über meine Versuchsanordnungen und Resultate behalte ich mir vor, demnächst zu veröffentlichen.

1) K. Antolik, Zeitschr. f. phys. u. chem. Unterr. 1891/92, 5.

Rostock, Physikalisches Institut, den 27. November 1900.

(Eingegangen 28. November 1900.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Über die Beziehungen zwischen der experimentellen und der mathematischen Physik.

Von H. Poincaré.[1])

Bedeutung des Experimentes und der Verallgemeinerung.

Das Experiment ist die einzige Quelle der Wahrheit: einzig das Experiment kann uns etwas Neues lehren; nur es kann uns Gewissheit verschaffen. Das sind zwei Sätze, die niemand bestreiten kann.

Wenn aber das Experiment alles bedeutet, welcher Platz bleibt für die mathematische Physik übrig? Was hat dann die Experimentalphysik mit einem solchen Hilfsmittel zu thun, welches

1) Vortrag gehalten auf dem internationalen Physikerkongress zu Paris, am 7. August 1900. Siehe Rapports du Congrès International de Physique, tome I, 1—29, Paris 1900.

unnütz und vielleicht sogar gefährlich erscheint?

Und trotzdem giebt es eine mathematische Physik; ja sie hat unleugbare Dienste geleistet; das ist eine Thatsache, mit der wir uns auseinandersetzen müssen.

Es genügt eben nicht, dass man beobachtet, die Beobachtungen müssen auch verwertet werden; und dazu muss man verallgemeinern. Das hat man zu allen Zeiten gethan; nur hat man, da die Erinnerung an vergangene Irrtümer den Menschen immer umsichtiger gemacht hat, immer mehr beobachtet und immer weniger verallgemeinert.

Jedes Jahrhundert machte sich über das Vergangene lustig und warf ihm vor, zu schnell und zu naiv verallgemeinert zu haben. Descartes sah mitleidig auf die Ionier herab; Descartes seinerseits wird von uns belächelt; ohne Frage werden auch unsere Nachkommen eines Tages über uns lachen.

Können wir denn aber nicht ohne weiteres ans Ziel gelangen? Giebt es kein Mittel, diesem Spotte zu entrinnen, den wir vor uns sehen? Können wir uns nicht mit dem reinen Experimente begnügen?

Nein, das ist unmöglich; das hiesse vollständig den wahren Charakter der Wissenschaft verkennen. Der Forscher muss ordnen; man macht Wissenschaft aus Thatsachen, wie man ein Haus aus Steinen baut; aber eine Anhäufung von Thatsachen ist noch ebensowenig eine Wissenschaft, wie ein Haufen Steine ein Haus.

Vor allen Dingen muss der Forscher voraussehen. Carlyle schrieb einmal irgendwo folgendes: „Auf die Thatsache allein kommt es an; Johann ohne Land ist hier vorüber gekommen, wohlan, das ist bewundernswert, das ist eine Wirklichkeit, für die ich alle Theorien der Welt hingäbe.“ Carlyle war ein Landsmann von Bacon; wie dieser predigte er unablässig die Verehrung „for the God of Things as they are“; aber Bacon hätte so etwas nicht gesagt. Das ist die Sprache des Geschichtsschreibers. Der Physiker würde vielmehr sagen: „Johann ohne Land ist hier vorüber gekommen; das ist mir ganz gleichgültig, da er doch nicht mehr vorbeikommen wird.“

Wir wissen alle, dass es gute und schlechte Experimente giebt, die letzteren wird man vergebens häufen; ob man ihrer Hundert, ob man ihrer Tausende macht, eine einzige Arbeit eines wahren Meisters, eines Pasteur z.B., wird genügen, sie in Vergessenheit geraten zu lassen. Bacon würde das sehr wohl verstanden haben, er ist es ja, der das Wort experimentum crucis erfunden hat. Aber Carlyle durfte das nicht verstehen. Eine Thatsache ist eine Thatsache; ein Schüler hat eine Zahl auf seinem Thermometer abgelesen, irgend eine Vorsicht hat er dabei nicht gebraucht; das thut nichts zur Sache, er hat sie abgelesen, und wenn eben nur die Thatsache etwas gilt, so hat er da mit demselben Anspruch eine Wirklichkeit, wie die Pilgerfahrten des Königs Johann ohne Land es sind. Was ist also ein gutes Experiment? Das ist ein solches, welches uns etwas Anderes kennen lehrt, wie eine blosse Thatsache; welches uns voraussehen, d. h. verallgemeinern lehrt.

Denn ohne Verallgemeinerung ist eine Voraussicht unmöglich. Die Umstände, unter denen man operiert hat, werden sich nie in ganz derselben Weise wiederholen. Die beobachtete Thatsache wird also niemals noch einmal eintreten; das einzige, was man behaupten kann, ist, dass unter analogen Umständen eine analoge Thatsache eintreten wird. Um vorauszusehen, muss man also zum mindesten die Analogie zu Hilfe nehmen, d. h. aber schon verallgemeinern.

So gewissenhaft man aber auch sein mag, man muss notwendigerweise interpolieren; das Experiment giebt uns nur eine bestimmte Anzahl von vereinzelten Punkten, man muss sie durch eine kontinuierliche Kurve verbinden; das ist eine regelrechte Verallgemeinerung. Aber man thut noch mehr: die Kurve, welche man zieht, wird sich zwischen den beobachteten Punkten hindurch- und nahe bei ihnen vorbeiwinden; sie wird nicht durch diese Punkte selbst hindurchgehen. Man beschränkt sich also nicht darauf, das Experiment zu verallgemeinern, man verbessert es sogar; und der Physiker, der sich dieser Verbesserungen enthalten und sich in Wahrheit mit dem reinen Experimente begnügen wollte, würde gezwungen sein, ganz absonderliche Gesetze auszusprechen.

Die ganz nackten Thatsachen würden uns also nicht genügen; und darum brauchen wir eine geordnete oder richtiger eine organisierte Wissenschaft.

Man sagt oft, es sei nötig, ohne eine vorgefasste Idee zu experimentieren. Das ist aber garnicht möglich; nicht nur würde dadurch jedes Experiment unfruchtbar, sondern man würde etwas wollen, was man garnicht könnte. Jeder trägt in sich seine Auffassung von der Welt, von der er sich so leicht nicht frei machen kann. Wir müssen uns doch z. B. der Sprache bedienen, und unsere Sprache ist doch nur aus vorgefassten Ideen zusammengemengt, kann es auch nicht anders sein. Nur sind das unbewusst vorgefasste Ideen, die tausendmal gefährlicher sind, als die andern.

Wenn wir also andere aufkommen lassen, deren wir uns vollbewusst sind, werden wir dann das Übel etwa schlimmer machen? Ich glaube nicht; ich bin vielmehr der Ansicht, dass sie sich wechselseitig als Gegengewicht, ich möchte fast sagen, als Gegengift dienen werden; sie werden im allgemeinen schlecht miteinander

auskommen, die einen werden mit den andern in Konflikt geraten, und uns dadurch zwingen, die Dinge unter anderen Gesichtspunkten anzusehen. Das genügt, um uns zu befreien; man ist nicht mehr Sklave, wenn man sich seinen Herrn wählen kann.

So befähigt uns, dank der Verallgemeinerung, jede beobachtete Thatsache, eine ganze Anzahl weiterer vorauszusehen; nur dürfen wir nicht vergessen, dass die erste allein gewiss ist, dass alle weiteren aber besten Falls wahrscheinlich sind. So fest begründet uns auch eine Voraussicht erscheinen mag, wir sind doch niemals absolut sicher, dass das Experiment sie nicht zu Schanden machen wird, wenn wir daran gehen, sie wahr zu machen. Aber die Wahrscheinlichkeit ist oft gross genug, dass wir uns praktisch mit ihr zufrieden geben können. Es ist mehr wert, ohne Gewissheit vorauszusehen, als überhaupt nicht vorauszusehen.

Man darf es also niemals von der Hand weisen, eine Bestätigung vorzunehmen, wenn sich Gelegenheit dazu bietet. Aber jedes Experiment ist langwierig und schwer, der Arbeiter sind nicht gar so viele, und die Zahl der Thatsachen, welche wir voraussehen sollen, ist unendlich; dieser Masse gegenüber würde die Zahl der direkten Bestätigungen, die wir gewinnen könnten, garnicht in Betracht kommen.

Von diesem Wenigen, was uns direkt zugänglich ist, muss man den besten Teil erwählen; jedes Experiment muss uns eine möglichst grosse Zahl von zukünftigen Erfahrungen mit dem grösstmöglichen Grade von Wahrscheinlichkeit vorauszusehen gestatten. Es gilt sozusagen, den Nutzeffekt der wissenschaftlichen Maschine zu erhöhen.

Es sei mir gestattet, die Wissenschaft mit einer Bibliothek zu vergleichen, die ohne Unterlass wachsen muss; der Bibliothekar verfügt für seine Einkäufe nur über ungenügende Kredite, er muss bemüht sein, sie nicht zu verschleudern.

Die Experimentalphysik nun ist es, die die Einkäufe zu besorgen hat; sie allein also kann die Bibliothek bereichern.

Die mathematische Physik andererseits hat die Aufgabe, den Katalog in Stand zu halten. Wenn der Katalog gut ist, wird die Bibliothek zwar nicht reicher sein, aber sie wird dem Leser helfen, sich dieser Reichtümer zu bedienen.

Er wird ferner dem Bibliothekar helfen, seine Kredite umsichtig zu verwenden, indem er ihm die Lücken seiner Sammlung zeigt; und das ist um so wichtiger, da seine Mittel durchaus unzulänglich sind.

Dies ist also die Aufgabe der mathematischen Physik, sie muss die Verallgemeinerung derart leiten, dass sie das vermehrt, was ich soeben den Nutzeffekt der Wissenschaft genannt habe. Wie sie dazu gelangt, und wie sie es ohne Gefahr thun kann, ist, was uns zu untersuchen übrig bleibt.

Die Einheitlichkeit der Natur.

Vorerst ist zu beachten, dass jede Verallgemeinerung gewissermassen den Glauben an die Einheitlichkeit und die Einfachheit der Natur zur Voraussetzung hat. In Bezug auf die Einheitlichkeit kann es eine Schwierigkeit hier nicht geben. Wenn nicht die einzelnen Teile des Weltalls sich wie die Glieder eines und desselben Körpers verhielten, so würden sie nicht aufeinander wirken, sie würden sich gegenseitig ignorieren; und wir insbesondere würden nur einen einzigen davon kennen. Wir haben uns also nicht zu fragen, ob die Natur einheitlich ist, sondern in welchem Sinne sie es ist.

Was den zweiten Punkt betrifft, so ist die Sache hier nicht so leicht. Es ist keineswegs sicher, dass die Natur einfach ist. Können wir ohne Gefahr so thun, als ob sie es wäre?

Es gab eine Zeit, wo die Einfachheit des Marriotteschen Gesetzes als beliebtes Argument zu Gunsten seiner Genauigkeit galt; wo sich selbst Fresnel, nachdem er in einer Unterhaltung mit Laplace gesagt hatte, die Natur kümmere sich nicht um analytische Schwierigkeiten, für verpflichtet hielt, dieses Wort näher auseinander zu setzen, um der herrschenden Meinung nicht allzusehr vor den Kopf zu stossen.

Heutzutage haben sich die Anschauungen sehr geändert; und trotzdem sehen sich diejenigen, die durchaus nicht glauben, die Naturgesetze müssten einfach sein, auch heute noch häufig gezwungen so zu thun, als ob sie es glaubten. Sie können sich dieser Notwendigkeit nicht ganz entziehen, ohne jede Verallgemeinerung und damit jede Wissenschaft unmöglich zu machen.

Es ist klar, dass irgend eine Thatsache in unzählig vieler Weise verallgemeinert werden kann, und es ist notwendig, eine Auswahl zu treffen; diese Auswahl wird sich nur durch Erwägungen der Einfachheit leiten lassen. Nehmen wir den alleralltäglichsten Fall, den der Interpolation. Wir ziehen eine kontinuierliche Kurve so regelmässig als möglich zwischen den durch die Beobachtung gegebenen Punkten hindurch. Warum vermeiden wir Ecken und allzu scharfe Biegungen? Warum hüten wir uns, unsere Kurve im Zickzack laufen zu lassen? Weil wir voraus wissen oder wenigstens zu wissen glauben, dass das zum Ausdruck zu bringende Gesetz nicht so kompliziert sein kann.

Man kann die Masse des Jupiter entweder aus den Bewegungen seiner Monde oder aus

den Störungen der grossen Planeten oder denjenigen der kleinen Planeten berechnen. Wenn man den Mittelwert der nach diesen drei Methoden erhaltenen Bestimmungen nimmt, so findet man drei benachbarte, aber doch sehr verschiedene Zahlen. Man könnte dieses Resultat so deuten, dass die Konstante der Schwerkraft in diesen drei Fällen nicht dieselbe sei. die Beobachtungen wären dadurch sehr viel besser wiedergegeben. Warum weisen wir trotzdem diese Deutung von der Hand? Nicht weil sie absurd ist, sondern weil sie unnötig kompliziert ist. Man wird sie an demselben Tage annehmen, wo sie sich aufdrängt, aber sie hat sich noch nicht aufgedrängt. Kurz, jedes Gesetz wird meist für einfach gehalten, bis der Beweis vom Gegenteil erbracht ist.

Diese Gewohnheit hat sich den Physikern aufgedrängt durch Gründe, die ich auseinandersetzen will; aber wie ist sie zu rechtfertigen, im Angesichte der Entdeckungen, die uns mit jedem Tage neue, reichere und verwickeltere Einzelheiten zeigen? Wie lässt sie sich in Einklang bringen mit dem Gefühle der Einheitlichkeit der Natur? Denn wenn alles von allem abhängig ist, so können die Beziehungen, bei denen so vielerlei Dinge eine Rolle spielen, nicht mehr einfach sein.

Wenn wir die Geschichte der Wissenschaft studieren, so beobachten wir zweierlei, sozusagen entgegengesetzte Fälle: bald verbirgt sich die Einfachheit hinter verwickelten Erscheinungen, bald dagegen tritt die Einfachheit zu Tage und verschleiert in Wirklichkeit äusserst komplizierte Vorgänge.

Was kann es Komplizierteres geben als die wirren Planetenbewegungen, und was Einfacheres als das Gesetz von Newton? Hier verwendet die Natur, jeder analytischen Schwierigkeit spottend, wie Fresnel sagte, nur einfache Mittel und erzeugt durch ihr Zusammenwirken ein wer weiss wie unauflösliches Gewirre. Und es gilt hier, die verschleierte Einfachheit zu enthüllen.

Beispiele vom Gegenteil giebt es in Hülle. In der kinetischen Gastheorie betrachtet man die Moleküle als von grossen Geschwindigkeiten belebt, deren Bahnen, durch unaufhörliche Stösse verwirrt, die seltsamsten Formen bilden und den Raum nach allen Richtungen hin durchfurchen. Das Resultat, was zu Tage tritt, ist das einfache Marriottesche Gesetz; jede Einzelthatsache war verwickelt, das Gesetz der grossen Zahlen hat die Einfachheit im Mittelwerte wieder hergestellt. Hier tritt also die Einfachheit zu Tage, und die Grobheit unserer Sinne verhindert uns, die Kompliziertheit wahrzunehmen.

Viele Erscheinungen gehorchen einem Gesetze der Proportionalität; aber warum? Weil es bei diesen Erscheinungen etwas giebt, was sehr klein ist. Das einfache beobachtete Gesetz ist dann nur eine Übertragung der allgemeinen analytischen Regel, nach der ein unendlich kleiner Zuwachs der Funktion proportional dem Zuwachs der Variablen ist. Da in Wahrheit der Zuwachs bei unseren Beobachtungen nicht unendlich klein, sondern nur sehr klein ist, so ist das Gesetz der Proportionalität nur ein angenähertes und die Einfachheit nur eine scheinbare. Was ich eben gesagt habe, gilt ebenso für das Prinzip der Superposition kleiner Bewegungen, dessen Anwendung so fruchtbar ist, und welches die Grundlage der Optik bildet.

Und das Newtonsche Gesetz selbst? Seine Einfachheit, die solange verborgen war, ist vielleicht auch nur eine scheinbare. Wer weiss, ob es nicht auch eine Folge ist irgend eines komplizierten Mechanismus, eines Stosses irgend einer subtilen, von unregelmässigen Bewegungen belebten Materie, und ob es nicht nur durch das Spiel der Mittelwerte und der grossen Zahlen einfach geworden ist? Jedenfalls ist es schwer, nicht anzunehmen, dass das einfache Gesetz Restglieder enthält, die sich erst bei kleinen Entfernungen geltend machen. Wenn sie in der Astronomie gegenüber denjenigen Newtons vernachlässigt werden können, und das Gesetz so seine Einfachheit wiedergewinnt, so wäre das nur der Ungeheuerlichkeit der himmlischen Entfernungen zu danken.

Zweifellos: wenn unsere Untersuchungsmittel feiner und feiner würden, so würden wir zunächst das Einfache hinter dem Verwickelten entdecken, dann wieder das Verwickelte hinter dem Einfachen, schliesslich abermals das Einfache hinter dem Verwickelten und so fort, ohne dass wir voraussehen könnten, welches der letzte Ausdruck sein würde.

Irgendwo muss man aufhören; und damit die Wissenschaft möglich ist, muss man aufhören, wenn man die Einfachheit gefunden hat. Das ist der einzige Grund, auf welchem wir das Gebäude unserer Verallgemeinerungen aufrichten können. Aber, wenn diese Einfachheit nur eine scheinbare ist, wird dieser Grund fest genug sein? Wir wollen das untersuchen.

Dazu wollen wir ins Auge fassen, welche Rolle bei unseren Verallgemeinerungen der Glaube an die Einfachheit spielt. Wir haben ein einfaches Gesetz in einer genügend grossen Zahl von Einzelfällen bestätigt; wir weigern uns, zuzugeben, dass dieses so oft wiederholte Zusammentreffen bloss eine Wirkung des Zufalls sei, und wir schliessen daraus, dass das Gesetz im allgemeinen Falle wahr sein muss.

Kepler bemerkt, dass die von Tycho beobachteten Stellungen eines Planeten alle auf derselben Ellipse liegen. Er kommt keinen

Augenblick auf den Gedanken, Tycho könnte durch ein merkwürdiges Spiel des Zufalls den Himmel immer nur in den Zeitpunkten beobachtet haben, wo die wahre Bahn des Planeten diese Ellipse gerade schnitt.

Was bedeutet es demnach, dass die Wahrheit einfach ist, oder dass sie eine verwickelte Wahrheit verdeckt? Sei sie nun dem Einflusse der grossen Zahlen zuzuschreiben, welche die individuellen Verschiedenheiten ausgleicht, oder werde sie dem relativen Werte gewisser Grössen verdankt, welcher bestimmte Ausdrücke zu vernachlässigen erlaubt, jedenfalls ist sie keine Folge des Zufalls. Diese Einfachheit, wirklich oder scheinbar, hat immer einen Grund. Wir werden also immer die nämliche Überlegung anstellen können; und wenn ein einfaches Gesetz in mehreren Einzelfällen beobachtet worden ist, so werden wir streng annehmen können, dass es auch in den analogen Fällen wahr ist. Uns hieran hindern, hiesse dem Zufall eine unzulässige Rolle zuschieben.

Indessen gilt es Unterschiede zu machen. Wenn die Einfachheit eine wirkliche und tiefer begründete wäre, so würde sie vor der wachsenden Genauigkeit unserer Messinstrumente Stand halten. Denn wenn wir die Natur im Grunde für einfach hielten, so müssten wir von einer angenäherten Einfachheit auf strenge Einfachheit schliessen. Das hat man auch einst gethan; wir aber haben das Recht nicht mehr, es zu thun.

Die Einfachheit der Keplerschen Gesetze beispielsweise ist nur eine scheinbare. Das hindert keineswegs, sie auf alle dem Sonnensysteme analogen Systeme anzuwenden, aber es hindert, dass sie streng richtig sind.

Die Bedeutung der Hypothese.

Jede Verallgemeinerung ist eine Hypothese; die Hypothese hat also eine notwendige Bedeutung, die noch nie jemand bestritten hat. Nur muss sie alle Zeit, so bald und so oft als möglich, der Bestätigung unterzogen werden. Es ist selbstverständlich, dass man sie ohne Hintergedanken verlassen muss, wenn sie diese Prüfung nicht besteht. Das geschieht auch im allgemeinen, aber zuweilen mit einem gewissen bitteren Gefühle.

Freilich selbst dieses bittere Gefühl ist nicht gerechtfertigt. Der Physiker, der in der Lage ist, auf eine seiner Hypothesen zu verzichten, müsste im Gegenteil voller Freude sein, denn er ist im Begriff, eine unverhoffte Gelegenheit zu Entdeckungen zu finden. Seine Hypothese, bilde ich mir ein, war nicht so leichthin angenommen worden; sie trug allen denjenigen bekannten Faktoren Rechnung, die an der Erscheinung mitwirken zu können schienen. Wenn die Bestätigung ausbleibt, so heisst das, dass irgend etwas Unerwartetes, Aussergewöhnliches da ist; man ist also im Begriff, etwas Neues zu finden.

Ist eine Hypothese, die so zu Falle kommt, unfruchtbar gewesen? Weit entfernt. Man kann vielmehr sagen, dass sie mehr Dienste geleistet hat, als eine wahre Hypothese; sie war nicht nur die Veranlassung zu einem entscheidenden Experiment, sondern man würde ohne die Hypothese dieses Experiment höchstens zufällig gemacht haben, so dass man nichts daraus geschlossen haben würde; man würde nichts Aussergewöhnliches darin erblickt haben, man würde nur eine Thatsache mehr registriert haben, ohne eine Konsequenz daraus zu ziehen.

Unter welcher Bedingung ist nun die Verwendung der Hypothese ohne Gefahr?

Der feste Vorsatz, sich dem Experimente zu unterwerfen, genügt nicht; es giebt auch dann noch gefährliche Hypothesen; das sind in erster Linie und immer diejenigen, die verschwiegen und unbewusst sind. Da wir sie machen, ohne es zu wissen, sind wir ohnmächtig, sie zu verlassen. Hier kann uns also die mathematische Physik noch einen weiteren Dienst leisten. Durch die Strenge, die ihr eigen ist, zwingt sie uns, alle Hypothesen zu formulieren, die wir auch ohne sie machen konnten, über die sie uns aber in keinem Zweifel lässt.

Halten wir auf der andern Seite fest, dass es wichtig ist, die Hypothesen nicht ohne Maass zu häufen und immer nur eine nach der andern aufzustellen. Wenn wir eine auf mehrfache Hypothesen begründete Theorie aufstellen, und wenn das Experiment dieselbe verwirft, welche von unseren Voraussetzungen müssen wir dann ändern? Es wäre unmöglich, das zu wissen. Und umgekehrt, wenn das Experiment glückt, wird man dann glauben, alle Hypothesen auf einmal bestätigt zu haben? Wird man glauben, durch eine einzige Gleichung mehrere Unbekannte bestimmt zu haben?

In gleicher Weise muss man Sorge tragen, zwischen den verschiedenen Arten von Hypothesen zu unterscheiden. Man hat da in erster Linie solche, die durchaus natürlich sind, und denen man sich kaum entziehen könnte. Es ist schwer, nicht anzunehmen, dass der Einfluss sehr entfernter Körper vollständig vernachlässigt werden kann, dass die kleinen Bewegungen einem linearen Gesetze gehorchen, dass die Wirkung eine stetige Funktion ihrer Ursache ist. Ich möchte das gleichsam als Bedingungen bezeichnen, die durch Symmetrie vorgeschrieben sind. Alle diese Hypothesen bilden sozusagen den gemeinsamen Boden aller Theorien der mathematischen Physik. Es sind die letzten, die man aufzugeben braucht.

Eine zweite Klasse von Hypothesen möchte ich als die indifferenten bezeichnen. Bei den

meisten Fragen setzt der Analytiker beim Beginn seiner Rechnung voraus, dass die Materie entweder kontinuierlich oder dass sie im Gegenteil aus Atomen zusammengesetzt ist. Er würde auch etwas ganz Anderes gethan haben, wenn nur seine Resultate dadurch nicht geändert würden; vielleicht hätte er dadurch mehr Mühe gehabt, sie zu erhalten, das wäre alles. Wenn jetzt das Experiment seine Schlussfolgerungen bestätigt, wird er dann denken, beispielsweise die wahre Existenz von Atomen nachgewiesen zu haben?

In die optischen Theorien werden zwei Vektoren eingeführt, von denen man den einen als Geschwindigkeit, den anderen als Kreisbewegung ansieht. Das ist so eine indifferente Hypothese, da man zu denselben Schlüssen gelangt wäre, wenn man das gerade Gegenteil gethan hätte; denn der Erfolg des Experimentes kann nicht beweisen, dass der erste Vektor in der That eine Geschwindigkeit ist; er beweist nur eins, nämlich, dass es ein Vektor ist; das ist die einzige Hypothese, die man in der That in die Voraussetzungen eingeführt hat. Um ihm einen konkreten Inhalt zu geben, wie ihn die Schwäche unseres Geistes verlangt, musste man ihn entweder als Geschwindigkeit oder als Kreisbewegung ansehen; ebenso gut hätte man ihn durch einen Buchstaben x oder y darstellen können; wie aber auch immer das Resultat ausfällt, es wird niemals beweisen, dass man Recht oder Unrecht gehabt habe, ihn als eine Geschwindigkeit anzusehen; sowenig wie es beweisen wird, ob man Recht oder Unrecht gehabt habe, ihn x und nicht y zu nennen.

Diese indifferenten Hypothesen sind niemals gefährlich, vorausgesetzt, dass man nicht ihren Charakter verkennt. Sie können nützlich sein, sei es, als Kunstgriffe der Rechnung, sei es, um unser Begriffsvermögen durch konkrete Bilder zu stützen und die Ideen zu fixieren, wie man sagt. Man braucht sie daher nicht in die Acht zu erklären.

Die Hypothesen der dritten Klasse sind die wahren Verallgemeinerungen. Sie sind es, die das Experiment bestätigen oder verwerfen muss. Bestätigt oder verworfen, werden sie immer fruchtbar sein. Aber aus den Gründen, die ich auseinandergesetzt habe, werden sie es nur dann sein, wenn man sie nicht häuft.

(Fortsetzung folgt.)

REFERATE ÜBER DIE BERICHTE DES INTERNATIONALEN PHYSIKERKONGRESSES ZU PARIS.

M. R. Bourgeois, Verteilung der Schwereintensität auf der Erdoberfläche. 21 Seiten.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Bestimmung der Schwerebeschleunigung auf der Erdoberfläche. Im ersten Teil giebt der Verfasser die historische Entwickelung der Beobachtungsmethoden. Als Galilei 1629 die Grundgesetze der Schwingungsdauer eines Pendels aufstellte, als ein halbes Jahrhundert später Huyghens das Wesen des physischen Pendels aufklärte, als zu gleicher Zeit Abt Picard in dem Bestreben, das Pendel als Uhrregulator verwertbar zu machen, den Einfluss der Temperatur auf die Schwingungsdauer untersuchte und den Vorschlag machte, die Länge des Sekundenpendels als Längeneinheit zu benutzen, da dachte noch niemand daran, dass an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche die Länge des Sekundenpendels verschieden sein könnte. Erst Richer fand bei seinen Beobachtungen vom Jahre 1672, dass die Länge des Sekundenpendels unter dem Äquator kleiner ist als unter höheren Breiten. Newton erklärte diese Erscheinung durch die Rotation und Abplattung der Erde, doch verging noch längere Zeit, bis seine Ansicht allgemeine Anerkennung gefunden hatte. Von nun an benutzte man das Pendel, um überall auf der Erde Schwerebestimmungen zu machen, es wurde der ständige Begleiter aller grösseren wissenschaftlichen Reisen, und man strebte eifrig dahin, es für diesen Zweck mehr und mehr zu vervollkommnen. Doch zwei volle Jahrhunderte waren notwendig, um einwandsfreie Beobachtungen zu ermöglichen. Bernoulli gab die Reduktion auf unendlich kleine Amplitude, Bouguer die Reduktion auf das Meeresniveau und die Untersuchung des hydrostatischen Auftriebes der umgebenden Luft, Mairan und Boscowich die wertvolle Beobachtungsmethode der Koinzidenzen. Während die ersten Beobachter, unter ihnen Borda und Bessel, durch Realisierung des mathematischen Pendels überall absolute Messungen zu gewinnen suchten, beschränkte man sich später darauf, dies an einigen wenigen Fundamentalpunkten zu thun, und machte im übrigen nur relative Bestimmungen der Schwere mit Hilfe des leicht trans-

portablen physischen Pendels. Zu absoluten Messungen verstand man das physische Pendel noch nicht zu benutzen, da man kein Mittel kannte, den Schwingungspunkt desselben aufzufinden. Insofern brachte das Jahr 1800 einen grossen Fortschritt, es lieferte in dem von de Prony vorgeschlagenen Reversionspendel ein leistungsfähiges Beobachtungsmittel für absolute Messungen. Je mehr die Vervollkommnung der Apparate voranschritt, um so mehr Fehlerquellen der Beobachtung wurden entdeckt. Man lernte von Bessel den hydrodynamischen Einfluss der vom schwingenden Pendel mitgezogenen Luft berücksichtigen, auf den schon in früher Zeit du Buat hingewiesen hatte, ebenso die Wirkung des Rollens der Schneide auf ihrer Unterlage. Eine dieser Fehlerquellen, das Mitschwingen des zur Aufstellung dienenden Pfeilers, blieb unerkannt bis in die letzten Jahrzehnte hinein. Albrecht, Bayer und Defforges waren es hauptsächlich, welche hier zur Aufklärung beitrugen. Noch ganz kürzlich gab dann Helmert die Korrektion wegen der Durchbiegung des Pendels. So wurde der Weg geebnet für die Präzisionsinstrumente der heutigen Zeit, zumal das zu relativen Bestimmungen weit verbreitete von Sterneck'sche Pendel.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit den gewonnenen Resultaten. Um vergleichbare Zahlwerte für die Länge des Sekundenpendels zu erhalten, sind ausser den erwähnten instrumentellen Korrektionen noch topographische Korrektionen anzubringen. Bouguer gab nicht allein die Reduktion auf das Meeresniveau, sondern auch die Korrektion, welche wegen der Anziehung der zwischen Beobachtungsstation und Meeresniveau liegenden Massen erforderlich ist. Dieses Rechnungsverfahren hat Helmert noch des Weiteren ausgearbeitet. Auf Grund der so gewonnenen Zahlen lässt sich dann mit der Claireautschen Formel die fundamental wichtige Konstante der Erdabplattung berechnen. Laplace erhielt aus 15 Beobachtungen den Wert $\frac{1}{287}$, Airy aus 49 Beobachtungen $\frac{1}{289}$, Clarke aus 99 Beobachtungen $\frac{1}{292,2}$. Zuletzt fand Helmert aus 122 Beobachtungen den Wert $\frac{1}{299,26}$, welcher mit dem von Bessel durch geodätische Messungen gewonnenen Resultate gut übereinstimmt. Interessant sind ferner die in der Verteilung der Schwerkraft aufgefundenen Anomalien, insbesondere die einer befriedigenden Erklärung noch harrende Erscheinung, dass die Schwerkraft auf den Kontinenten stets unter den Mittelwert herabsinkt, auf den Inseln der Ozeane dagegen abnorm hohe Beträge erreicht, während die an den Küsten gefundenen Werte in der Mitte liegen. Zum Schluss giebt der Verfasser eine Zusammenstellung von verschiedenen insularen und kontinentalen Schwerebestimmungen.

Wilh. Schlüter.

(Eingegangen 19. November 1900.)

Eingegangene Schriften.

(Eingehende Besprechung vorbehalten.)

Ahrens, F. B., Anleitung zur chemisch-technischen Analyse. Ein Lehr- und Nachschlagebuch für Studierende, Chemiker, Hüttenleute, Techniker u. s. w. Mit 87 Abbildungen. VIII u. 446 S. Stuttgart, Ferdinand Enke. 1901. Mk. 9.—.

Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. 8. Leipzig, Wilhelm Engelmann. 1900.

No. 114. Alessandro Volta, Briefe über thierische Elektrizität (1792). Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. 162 S. Gebd. Mk. 2.50.

No. 115. Horace Bénédicte de Saussure, Versuch über die Hygrometrie. I. Heft. Beschreibung eines neuen vergleichbaren Hygrometers. Theorie der Hygrometrie (Neuchatel, 1783). Mit einer Tafel und Vignette. Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. 168 S. Gebunden Mk. 2.60.

Ristenpart, Fr., Verzeichnis von 336 Sternkatalogen. II u. 42 S. Breslau, Eduard Trewendt. 1901. Mk. 2.—.

Voigt, W., Elementare Mechanik als Einleitung in das Studium der theoretischen Physik. Zweite umgearbeitete Auflage. Mit 56 Figuren im Text. X u. 578 S. Leipzig, Veit & Comp. 1901. Mk. 14.—.

Personalien.

Der Professor Geh. Regierungsrat für Eisenbahnmaschinenbau Georg Meyer von der Technischen Hochschule zu Berlin hat vom Kultusminister einen Urlaub zur Wiederherstellung seiner Gesundheit für das gesamte Winterhalbjahr 1900/1901 erhalten. Mit seiner Vertretung ist Regierungsbaumeister Buhle betraut worden. Das Vortragskolleg über Eisenbahnbetrieb einschliesslich Signalwesen fällt im Winterhalbjahr aus. Dafür wird das Kolleg des Privatdozenten Betriebsinspektors Conier „Ausgewählte Kapitel aus dem Eisenbahnbetriebsdienst" derart gestaltet werden, dass es als Ersatz für die ausfallenden Vorträge des Geh. Rats Meyer dienen kann.

Anzeige.

Physiker

tüchtig und vermögend, kann als **Socius** in ein **gut rentierendes** physikalisch-technisches Laboratorium eintreten. Interessante Thätigkeit. Offerten mit Angabe der ev. verfügbaren Mittel unter **G. K. 131** an **Rudolf Mosse, Berlin,** Leipzigerstr. 103

Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Frankfurt a. M. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.